近30 a黄河流域中心城市空间扩展特征及启示

万 赟[1]， 吴文恒[1,2]， 刘金凤[1]， 史海金[1]， 刘力萌[1]

（1. 西北大学城市与环境学院，陕西 西安 710127；2. 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室，陕西 西安 710127）

摘 要： 探究城市空间扩展特征，认识城镇用地开发效率，有助于科学践行城市开发边界和高质量发展政策。基于城市空间、人口和经济数据，采用扩展强度指数、差异指数和耦合协调度模型，分析1992—2020年黄河流域8个中心城市空间扩展数量和质量的时空特征及启示。结果表明：(1) 中心城市平均扩展面积315 km^2，下游城市扩展规模大于中上游，济南市、郑州市、西安市和银川市扩展强度较高。(2) 各市空间扩展与人口、经济耦合关系呈下游向中上游、中游向上下游递减的分布特征，平均值分别由1992年0.42、0.19提升至2020年0.89、0.81，扩展质量整体向好。(3) 城市空间扩展分异是自然区位、经济发展、政策条件等多方面综合驱动的结果。(4) 严格落实流域高质量发展政策，科学践行城市开发边界，协调优化城市用地扩展与人口、经济之间相互关系，合理规划城市发展，是黄河流域中心城市实现高质量发展的重要路径。

关 键 词： 空间扩展；耦合协调度；中心城市；黄河流域

文章编号： 1000－6060(2024)02－0281－12(0281～0292)

人口和经济增长致使城市用地扩展[1-2]。空间扩展推动了外延城市化与郊区化[3]，人口、设施、产业或经济的占用情况反映空间扩展质量。1990年代以来，伴随经济全球化和经济转型，我国城市化进程加快[4]，城市用地规模快速增长，空间形态结构急剧变化，扩展增强[5]。至2015年，中央城市工作会议提出“坚持集约发展，树立‘精明增长’‘紧凑城市’理念，科学划定城市开发边界，推动城市发展由外延扩张式向内涵提升式转变”[6-8]，优先考虑既有城区的再开发，避免城市无序蔓延，以节约集约利用土地与国土空间。在此背景下，探究城市空间扩展特征具有重要理论和现实意义。2019年9月，国家提出黄河流域生态保护和高质量发展重大战略，强调防止城市“摊大饼”式无序扩张，推动沿黄特大城市瘦身健体、减量增效。同时，流域高质量发展，离不开中心城市辐射带动及其整个战略功能的发挥[9-10]。因此，检视流域中心城市空间扩展数量与质量，成为落实流域高质量发展的基础工作，如何刻画城市扩展质量则成为重要的科学问题。适时研究黄河流域中心城市空间扩展态势，有助于整体上更好地认识和科学规划新时期流域城市建设用地，优化中心城市空间布局，践行黄河流域高质量发展[11-13]。

目前城市空间扩展研究主要有全国、区域和城市3个尺度。在全国层面，关注城市的土地利用变化及成因[14]、空间扩展质量[15-16]和不同地域的城市空间扩展差异[17-18]等。在区域层面，主要分析城市空间扩展格局以及不同等级城市的空间生长过程，诸如长三角城市群、京津冀城市群等[19-21]。在城市层面，探究案例城市空间扩展的时空特征[22-23]、驱动力[24]，预测模拟城市发展方向[25-26]。上述研究，集中在经济社会剧烈转变的东中部地区，尤其长江三角洲地区，较好地反映中国典型城市和城市群的空间扩展特征，但城市空间扩展质量的多维指标评估、

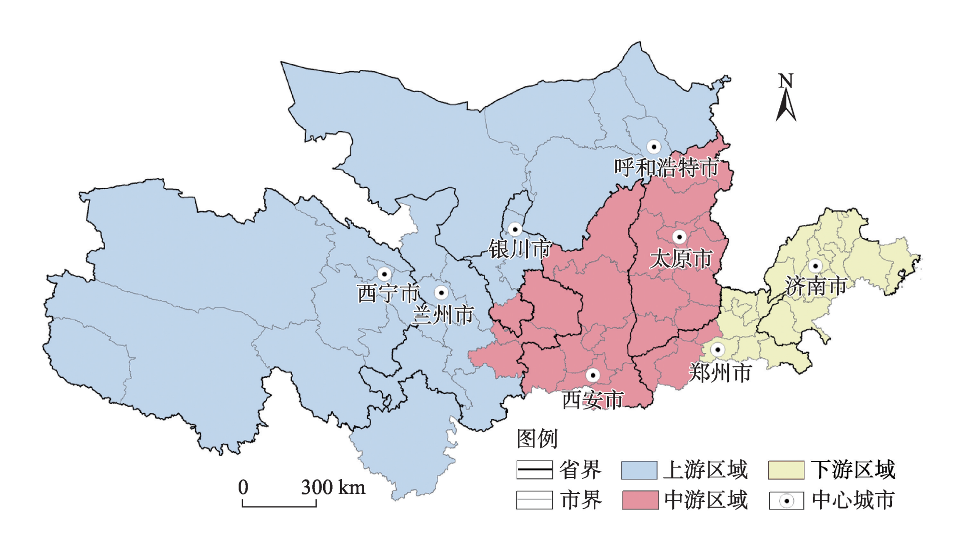
收稿日期： 2023-02-06； **修订日期：** 2023-05-08
基金项目： 教育部人文社会科学研究规划基金项目(18YJA840013)资助
作者简介： 万赟(1999-)，女，硕士，主要从事区域发展研究. E-mail: wywxslscjzx@163.com
通讯作者： 吴文恒(1977-)，男，教授，博士生导师，主要从事城乡发展与规划、人口与资源环境研究. E-mail: wuwh@nwu.edu.cn

西部地区及不同地区城市空间扩展的对比认识需加强。分析黄河流域中心城市空间扩展特征，可以更全面认识东、中、西地区之间城市空间扩展的差异性。同时，探究城市空间扩展与人口、经济增长不协调的成因机制，指导国土空间规划，仍是待解决的研究命题[27-30]。在城市空间扩展因素与驱动力方面，西方相关研究进展可总结为动力因素、自然机制、市场机制、社会价值机制和政治权力机制五大类[27]，国内学者普遍认为自然环境、政策规划、经济发展、交通区位、人文社会等是影响城市扩展的主要因素[31-33]。

本文基于空间、人口和经济多元数据，采用城市空间扩展强度指数、城市空间扩展强度差异指数以及熵权TOPSIS评价法、耦合协调度模型，探究1992—2020年黄河流域中心城市空间扩展数量与质量特征。其中，采用空间扩展规模和空间扩展强度2个维度刻画空间扩展数量特征，空间与人口、经济耦合关系2个维度刻画空间扩展质量特征，梳理相关启示，以期为促进黄河流域中心城市高质量发展及东、中、西地区协调健康发展提供理论依据。

1 研究区概况

黄河流域是指黄河水系自发源地到入海这段过程中，所流经且对其产生一定影响的地理生态区域[34]，包含青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东9省区、73个城市[35-36]，除长江流域的成都市外，包括上游西宁市、兰州市、银川市、呼和浩特市，中游太原市、西安市与下游郑州市、济南市8个省会(首府)中心城市(图1)。2020年黄河流域中心城市常住人口$5.21×10^7$人，占全国人口总数3.69%，上、中、下游中心城市人口比重分别为22.99%、35.07%与41.94%；市区GDP总量$4.53×10^{12}$元，占全国GDP总量4.47%，上、中、下游中心城市GDP比重分别为19.90%、31.26%和48.84%。中心城市的人口、经济总量较大，上中下游差异显著。



注：该图基于标准地图网站下载的审图号为GS(2020)4630号的标准底图制作，底图边界无修改。下同。

图1 黄河流域中心城市

Fig. 1 Central cities in the Yellow River Basin

2 数据与方法

2.1 指标选取与数据来源

城市扩展代表了农业用地向非农业用地转化的空间城市化，与人口向城市集聚、郊区扩散以及居住郊区转移的人口城市化，工业、办公商服业等反映的经济城市化关系密切。高质量的城市用地扩展是经济、人口与城市用地扩展协同发展的过程，并且能够引导人口和经济有机疏散[17]。因此，用建成区面积衡量城市空间扩展数量，借用空间扩展指数与人口、经济发展指数的耦合关系，刻画城市空间扩展质量。参考已有测度城市空间、人口和经济的指标体系[5,37-38]，遵循科学性、系统性与可操作性原则，构建衡量空间与人口、经济发展指数的指标层和因子层。其中空间维度反映城市空间扩展情况，包括建成区面积、城市道路面积和城市绿

地面积3个指标；人口维度反映人口增长情况以及人口聚集程度，包括城市常住人口、城市人口密度与二三产业从业人数3个指标；经济维度反映经济发展综合水平以及单位面积经济产出，包括城市GDP总量、城市经济密度、二三产业总产值3个指标（表1）。

表1　城市空间扩展与人口、经济耦合协调测度指标体系

Tab. 1　Indicator system for measuring coupling coordination between urban spatial expansion and population & economy

目标层	指标层	因子层	权重
城市空间扩展与人口、经济耦合协调测度	空间扩展（A）	建成区面积（A1）/km^2	0.42
		城市道路面积（A2）/m^2	0.23
		城市绿地面积（A3）/m^2	0.35
	人口发展（B）	城市常住人口（B1）/10^4人	0.32
		城市人口密度（B2）/10^4人·km^{-2}	0.41
		二三产业从业人数（B3）/10^4人	0.26
	经济发展（C）	城市GDP总量（C1）/10^8元	0.29
		城市经济密度（C2）/10^4元·km^{-2}	0.44
		二三产业总产值（C3）/10^8元	0.27

空间、人口和经济维度相关指标数据来自1993—2021年黄河流域各省市统计年鉴、发展年鉴及国民经济和社会发展公报，1993—1996年的建成区面积、城市道路面积和城市绿地面积的指标数据来自《中国城市建设统计年鉴》，通过整理计算得到所有指标数据。

2.2 研究方法

2.2.1 熵权TOPSIS法　通过熵值法确定指标权重，再利用TOPSIS法逼近理想解以确定评价对象的相对优劣[38-39]，步骤如下：

（1）数据标准化处理。为消除量纲影响，采用极差标准化法，对原始数据进行标准化处理。当数据越大对系统发展越有利时采用正向处理，当数据越小对系统发展越有利时采用负向处理。

$$\text{正向处理：}Y_{ij}=\frac{X_{ij}-X_{j\min}}{X_{j\max}-X_{j\min}}\qquad \text{负向处理：}Y_{ij}=\frac{X_{j\max}-X_{ij}}{X_{j\max}-X_{j\min}} \tag{1}$$

式中：Y_{ij}、X_{ij}、$X_{j\max}$和$X_{j\min}$分别为第i个评价对象中第j项指标的标准化值、原始值、最大值和最小值。

（2）确定指标权重W。运用熵值法确定空间、人口和经济各指标层因子的权重，计算过程如下：

计算第j项指标下第i个评价对象指标值的比重P_{ij}：

$$P_{ij}=\frac{Y_{ij}}{\sum_{i=1}^{m}Y_{ij}} \tag{2}$$

计算第j项指标的熵值e_j：

$$e_j=-K\sum_{i=1}^{m}P_{ij}\ln P_{ij}，\text{其中}K=\frac{1}{\ln m} \tag{3}$$

计算第j项指标的差异性系数g_j和权重w_j：

$$g_j=1-e_j，\quad w_j=\frac{g_j}{\sum_{j=1}^{n}g_j} \tag{4}$$

（3）构建加权规范化矩阵Z：

$$Z=Y\times w \tag{5}$$

（4）确定最优解Z^+和最劣解Z^-：

$$Z^+=\left\{\max Z_{ij}|j=1,2,\cdots,n\right\}=\left\{Z_1^+,Z_2^+,\cdots,Z_n^+\right\}$$
$$Z^-=\left\{\min Z_{ij}|j=1,2,\cdots,n\right\}=\left\{Z_1^-,Z_2^-,\cdots,Z_n^-\right\} \tag{6}$$
$$\text{其中，}Z_{ij}=Y_{ij}\times w_j$$

式中：Z_{ij}为第i行和第j列的指数值。

（5）计算各评价对象与最优解、最劣解的欧式距离D_i^+、D_i^-：

$$D_i^+=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(Z_{ij}-Z_j^+\right)^2}，\quad D_i^-=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(Z_{ij}-Z_j^-\right)^2} \tag{7}$$

（6）计算各评价对象与最优解的相对接近度U_i：

$$U_i=\frac{D_i^-}{D_i^++D_i^-} \tag{8}$$

式中：U_i为空间扩展指数、人口（经济）发展指数，$0\leqslant U_i\leqslant 1$，$U_i$值越大表示样本越贴近最优解。以上各式中，$i$=1, 2, …, m；j=1, 2, …, n。

2.2.2 城市空间扩展强度指数　城市空间扩展强度指数（Urban expansion intensity index，UEII）指同一城市在不同时段的空间扩展强度，反应同一城市在不同时段的空间扩展情况，公式为：

$$\text{UEII}_n=\frac{A_n^{t_2}-A_n^{t_1}}{A_n^{t_1}\times\Delta t} \tag{9}$$

式中：UEII_n为第n个中心城市的空间扩展强度指数；$A_n^{t_1}$、$A_n^{t_2}$分别为t_1、t_2时间段内第n个中心城市的建成区面积；Δt为t_1到t_2的间隔年份。

2.2.3 城市空间扩展强度差异指数　城市空间扩展强度差异指数（Urban expansion intensity differentia-

tion index，UEDI）指某一序列时间段内的城市空间扩展变化强度与所有城市空间扩展变化强度的比值，在不受中心城市体量大小的影响下，反应不同城市空间扩展强度之间的横向对比，表示为年均城市空间扩展面积与土地总面积的比值[17]，公式为：

$$UEDI_n=\frac{|A_n^{t_2}-A_n^{t_1}|\times A^{t_1}}{|A^{t_2}-A^{t_1}|\times A_n^{t_1}} \quad (10)$$

式中：$UEDI_n$为第n个中心城市的空间扩展强度差异指数；A^{t_1}、A^{t_2}分别为t_1、t_2时间段内所有中心城市的建成区面积。

2.2.4 耦合协调度 耦合是2个或2个以上系统相互影响、相互作用的现象。利用耦合协调度模型，揭示空间与人口、经济之间相互影响和作用的内在协同机制，刻画城市空间扩展质量状况[5,40]。公式如下：

$$C=\sqrt[k]{\frac{f(U_1)f(U_2)}{[f(U_1)+f(U_2)]^2}} \quad (11)$$

式中：$f(U_1)$为空间扩展指数；$f(U_2)$为人口或经济发展指数；C为空间与人口、经济的耦合度，$0<C<1$，C值越大，耦合性越好；k为调节系数，本文耦合度模型由2个系统构成，故k值取2。

为了反映系统协调的优良性，体现协调发展水平的阶段性，进一步运用耦合协调度模型探讨空间与人口、经济之间耦合协调程度。公式如下：

$$D=\sqrt{C\times T},\ T=\alpha f(U_1)+\beta f(U_2) \quad (12)$$

式中：D为空间与人口、经济的耦合协调度；T为两者的综合协调指数；α、β为待定系数，且$\alpha+\beta=1$，本研究认为空间和人口（经济）2个子系统同等重要，故$\alpha=\beta=0.5$。基于D值的大小，将其耦合情况划分为4个大类[28,41]：$0\leq D<0.3$为极度失调；$0.3\leq D<0.5$为轻度失调；$0.5\leq D<0.8$为初级协调；$0.8\leq D\leq 1.0$为优质协调。

3 结果与分析

3.1 空间扩展数量特征

应用UEII和UEDI分析1992—1997年、1997—2002年、2002—2007年、2007—2012年和2012—2020年5个阶段黄河流域中心城市空间扩展数量的时间和空间特征。

3.1.1 空间扩展规模

（1）时间维度上，中心城市用地规模持续扩展、分时段差异大。1992—2020年中心城市用地规模持续增加，除西宁市外均超过100 km²，8个城市平均扩展面积315 km²。分时段看，1987—1997年是我国土地有偿使用制度改革的初始阶段[27]，故1992—1997年中心城市扩展规模普遍不大，最大的郑州市为16 km²，西安市扩展了14 km²。1997年开始土地市场化改革阶段，1997—2002年改革开放带来的工业化与城市化效应显现，空间扩展增速，面积最大的济南市为75 km²，呼和浩特市扩展了42 km²。2002—2007年城市空间扩展增幅达到一个峰值，其中郑州市和济南市分别扩展了165 km²和125 km²，西安市、太原市次之，分别扩展了81 km²和61 km²，这一定程度归因于1990年代以来我国各类开发区逐渐成规模建设，工业、居住、商贸服务业、办公业郊区化发展的效应显现。2007—2012年受2008年国际金融危机、国家规范城市建设用地等影响，用地需求进入相对稳态，扩展增幅有所回落，期间增幅最大的西安市和太原市分别扩展了107 km²和72 km²。2012—2020年黄河流域中心城市用地又呈现较大的扩展趋势，其中济南市、西安市、郑州市的扩展规模分别达到了431 km²、326 km²与268 km²。

（2）空间维度上，下游城市空间扩展面积大于中上游城市。研究时段内，下游城市平均扩展面积大于中上游，济南市扩展最大（684 km²），西宁市最小（54 km²）（表2）。下游中心城市人口、GDP比重分别占流域的48.84%、41.94%，人口和经济优势突出，同时得益于区位、改革开放和东部地区率先发展战略，扩展面积较大。中上游城市面临自然条件、资源环境、区位交通、产业发展、投资就业、人口与劳动力等因素限制，扩展规模相对较小，中游城市平均扩展面积大于上游城市。太原市与兰州市在1990年代城市建设用地已达一定规模，后期扩展变化迟滞。

3.1.2 空间扩展强度

（1）空间扩展强度呈波动性特征，2002—2007年最大。分时段看，空间扩展强度差异较大，整体呈先升后降再回升的波动性特征（图2）。第一、第二和第三阶段（1992—2007年）为上升期，这一时期是计划经济向市场经济转型的重要阶段，各类开发区和房地产大热[42]，UEII值普遍呈波动上升的趋势，其中郑州市、银川市和济南市在2002—2007年

表2　黄河流域中心城市扩展规模变化

Tab. 2　Change of expansion scale of central cities in the Yellow River Basin　/km²

城市	城市面积						扩展面积
	1992年	1997年	2002年	2007年	2012年	2020年	
济南市	110	115	190	315	363	794	684
郑州市	100	116	156	321	373	641	541
太原市	168	168	177	238	310	340	172
西安市	148	162	187	268	375	701	553
呼和浩特市	75	78	120	150	210	272	197
银川市	42	46	60	107	135	195	153
兰州市	163	163	180	183	199	329	166
西宁市	52	60	61	65	75	106	54

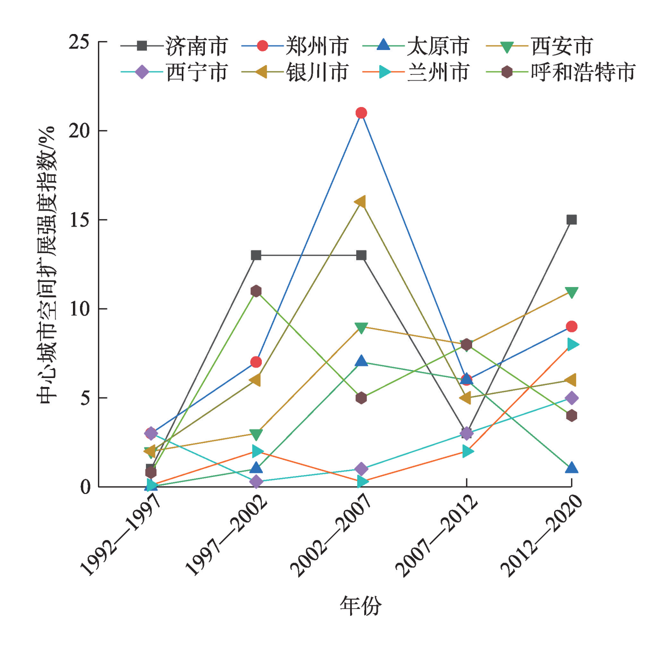


图2　黄河流域中心城市空间扩展强度指数

Fig. 2　Index of spatial expansion intensity of central cities in the Yellow River Basin

扩展强度分别达到了21.05%、15.67%和13.16%。第四阶段(2007—2012年)为下降期，2008年宏观金融危机等影响，济南市、西宁市和兰州市的UEII低于5.00%。第五阶段(2012—2020年)为回升期，除太原市和呼和浩特市以外，其余城市UEII值较上一时段均上升，其中济南市达到了14.83%，西安市、郑州市和兰州市分别为10.86%、8.97%和8.21%，但强度整体小于2002—2007年。随着我国的城镇开发边界划定、城镇化水平已达一定高度(2022年末全国常住人口城镇化率65.22%，接近国际上70%左右的城镇化相对稳定阶段)与内城挖潜提质增效的普遍趋势，未来黄河流域中心城市空间扩展强度恐不会有过大的上升。

(2) 空间扩展强度整体呈现下游向中上游递减的阶梯状分布。基于流域尺度计算城市空间扩展强度差异指数，运用自然断点分级法将空间扩展强度划分为缓慢扩展(0~0.30)、低速扩展(0.31~0.60)、中速扩展(0.61~0.90)、快速扩展(0.91~1.50)以及高速扩展(>1.50)5大类型[17]。不同时段与总时段的空间扩展强度整体呈现由下游向中上游递减的阶梯状分布，高速扩展主要分布在下游地区(图3)。

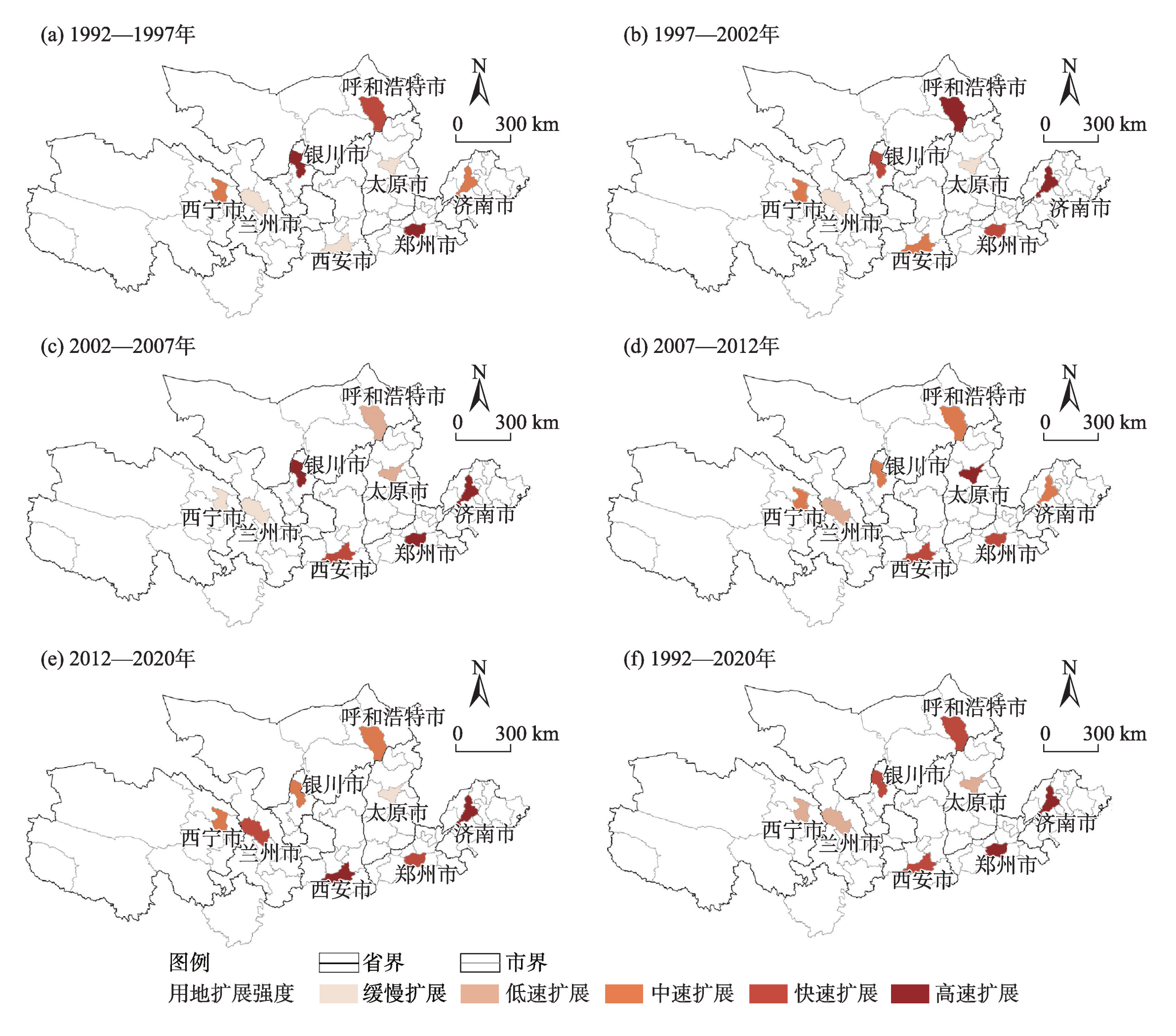
具体来看，1992—1997年郑州市、银川市、呼和浩特市和济南市的空间扩展速度高于中心城市的UEDI平均值1.27，其他城市介于0.02~0.71之间。1997—2002年呼和浩特市、济南市、银川市和郑州市的空间扩展速度高于中心城市的UEDI平均值1.07，其他城市介于0.22~0.66之间。2002—2007年郑州市、银川市和济南市的空间扩展速度高于中心城市的UEDI平均值1.04，其他城市介于0.11~0.94之间。2007—2012年太原市、西安市和郑州市的空间扩展速度高于中心城市的UEDI平均值0.96，其他城市介于0.38~0.80之间。2012—2020年济南市、西安市、郑州市的空间扩展速度高于中心城市的UEDI平均值1.04，其他城市介于0.20~1.03之间。1992—2020年济南市、西安市、郑州市和银川市的空间扩展速度高于中心城市的UEDI平均值1.14，其他城市介于0.38~0.97之间，其中济南市和郑州市的UEDI指数分别为2.12、2.00，达到了高速扩展的状态。

3.2　空间扩展质量特征

3.2.1　城市空间扩展与人口耦合质量特征

(1) 耦合质量随时间波动上升

1992—2020年8个中心城市空间扩展与人口耦合平均值由0.42波动上升至0.89。第一、二阶段



注:图中用地扩展强度基于建成区面积运算得出,由于建成区面积在图上显示过小,不具有直观性,故用市域范围进行填充。

图3 黄河流域中心城市空间扩展强度差异指数图

Fig. 3 Differentiation index of spatial expansion intensity of central cities in the Yellow River Basin

(1992—2002年),除太原市以外,中心城市空间与人口耦合质量均有不同程度的提升(图4)。第三、第四阶段(2002—2012年),除西安市、西宁市和兰州市外,其他城市耦合质量呈上升趋势,其中银川市和呼和浩特市增幅最大。西宁市和兰州市分别因为生态保护政策和河谷型地形限制,空间扩展受到刚性约束,耦合质量较低。第五阶段(2012—2020年),济南市、郑州市和西安市等中心城市耦合质量在经历了一定幅度的下滑后又继续回升,2020年除兰州市为轻度失调状态,其余中心城市的耦合质量基本达到了优质协调的发展阶段,人口与空间处于较为协调的发展水平。

(2) 耦合质量空间上从下游向中上游递减

2020年下游城市济南市(0.97)和郑州市(1.00)为"优质协调";中游城市太原市(0.85)和西安市(0.95)均为"优质协调"发展阶段;上游城市西宁市(1.00)、银川市(0.94)和呼和浩特市(0.96)为"优质协调",兰州市(0.47)为"轻度失调"。总体看,中心城市的耦合质量均值呈从下游(0.98)向中游(0.90)、上游(0.84)递减的分布特征(图4)。2020年兰州市空间扩展指数低(0.10),人口发展指数相对最优(0.49),两者相距悬殊,带来耦合轻度失调;下游城市空间和人口发展指数差距相对较小,均达到优质耦合协调。

3.2.2 城市空间扩展与经济耦合质量特征

(1) 耦合质量波动上升,上游城市增幅相对较大

1992—2020年8个中心城市耦合平均值在研究时段内由0.19波动提升至0.81。第一、第二阶段(1992—2002年),中心城市空间扩展指数和经济发

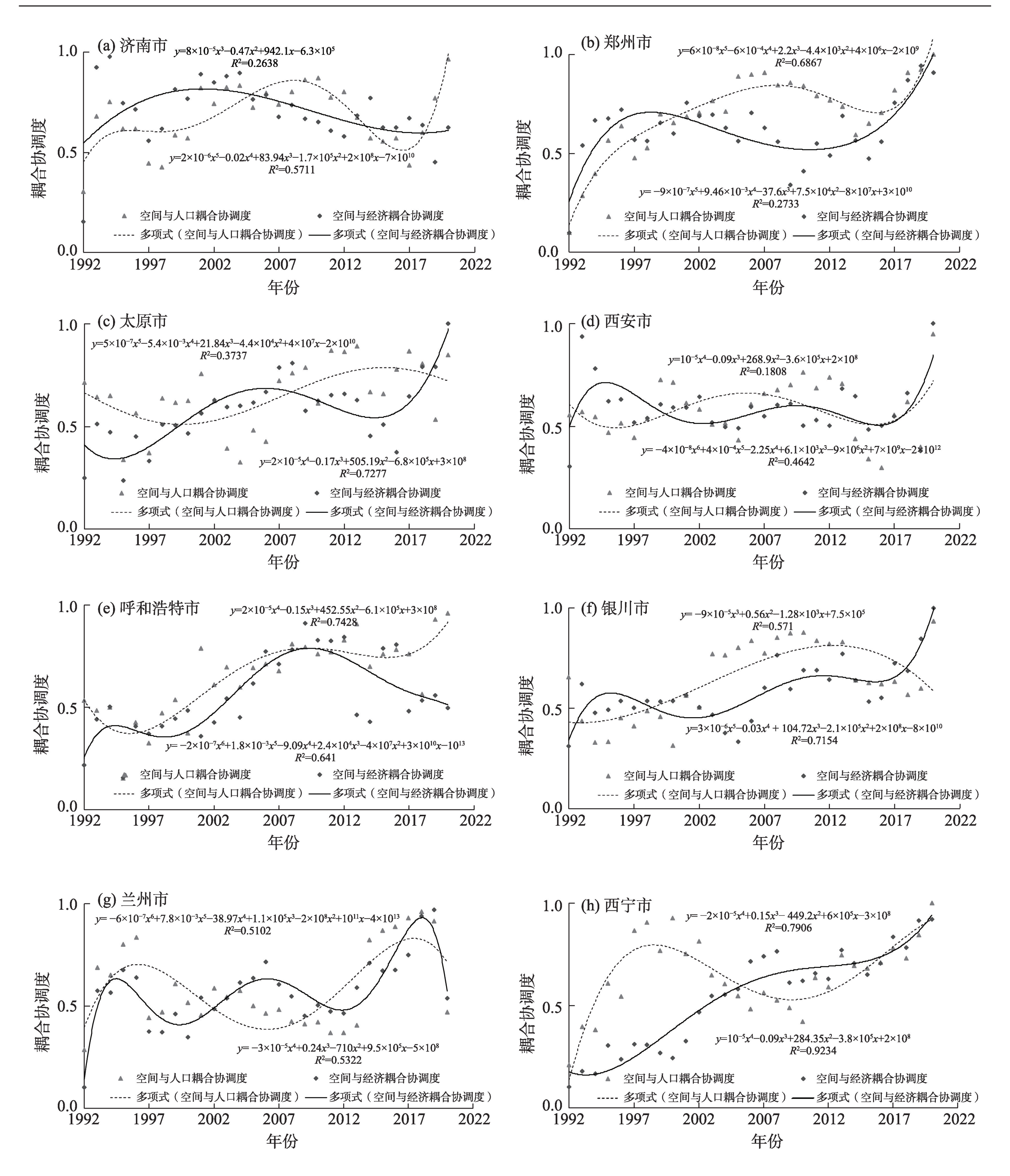


图4　中心城市空间与人口(经济)发展指数耦合协调度

Fig. 4　Coupling coordination degree of spatial and demographic (economic) development index

展指数较低，空间与经济协同程度和耦合质量相对较差，其中下游城市整体上升幅度最大(图4)。第三阶段(2002—2007年)，下游中心城市耦合质量有所下降，上游中心城市耦合质量不断提升，其中西宁市和呼和浩特市的上升趋势最为显著。第四、第五阶段(2007—2020年)，上游城市呼和浩特市和兰州市的耦合质量有所下滑，中下游城市除济南市外呈稳步提升趋势。总之，城市扩展面积小的西宁市、银川市、太原市以及扩展面积大的郑州市，经济发展指数与之较为匹配，整个时段内耦合协调态势

较好。

（2）耦合质量从中游向上下游递减

2020年下游城市济南市为初级协调发展阶段(0.62)，郑州市为优质协调(0.91)；中游城市太原市(1.00)、西安市(1.00)均达到优质协调状态；上游城市西宁市(0.92)、银川市(1.00)为优质协调发展阶段，兰州市(0.54)、呼和浩特市(0.50)为初级协调(图4)。总体看，中心城市的耦合质量均值呈从中游(1.00)向下游(0.77)、上游(0.74)递减态势。2020年济南市、兰州市和呼和浩特市的空间扩展指数分别为0.87、0.10与0.95，经济发展指数综合水平分别为0.17、0.84与0.06，匹配协调程度相对偏弱，使得该3个城市耦合初级协调。

3.3 启示

3.3.1 多因素综合驱动流域中心城市空间扩展分异 城市空间扩展及分异是自然条件、资源环境、区位交通、产业发展、投资就业、政策条件、历史基础、创新发展及城市化、市场化、国际化等多因素综合影响和作用的结果，一定程度是城市乃至区域人口、经济发展水平的反映。济南市、郑州市、西安市在这些因素方面多拥有自身优势和有利条件，空间扩展较为明显，其中济南市扩展规模最大，达到684 km^2。相对来说，兰州市、太原市、呼和浩特市、银川市、西宁市或多或少受到了一些因素牵绊影响，发展条件与建设用地需求薄弱，空间扩展少。兰州市河谷型城市建设用地的刚性约束，限制了用地空间扩展；太原市资源型地区、较好的历史基础没能在改革开放大潮中很好地助力其快速发展，反而一定程度陷入了资源诅咒的陷阱；呼和浩特市与银川市同为民族地区首府，远离沿海、沿江与陇海—兰新国家重要经济带，发展机遇受到影响；西宁市地处青藏高原，区位条件与生态保护限制，影响建设用地需求与空间扩展。

3.3.2 济南市、西安市和郑州市空间扩展明显，西安市需加强内涵式用地管理 在扩展数量方面，济南市、西安市和郑州市1992—2020年扩展面积分别为684 km^2、553 km^2和541 km^2，扩展强度为22.19%、13.34%和17.07%，扩展最为明显，2020年建成区规模达到了794 km^2、701 km^2和641 km^2。在扩展质量方面，济南市、西安市和郑州市时段内空间与人口耦合关系平均值分别为0.68、0.58和0.70，空间与经济耦合关系平均值为0.70、0.59和0.62，其中西安市两者均低于黄河流域整体平均值0.65和0.60，空间扩展出现了一定失衡状况，需加强内涵式用地管理。

3.3.3 与长江流域相比，黄河流域中心城市扩展数量少但质量尚好 黄河流域与长江流域同为横跨我国东、中、西部的流域经济地带，后者更是重大国家战略经济带，其发展具有一定可参考性。因此选取长江流域南京市(下游)、武汉市(中游)和成都市(上游)3个省会中心城市，与黄河流域中心城市空间扩展数量和质量两方面进行差异对比。在扩展数量方面，仅1995—2019年，成都市建成区面积增长821 km^2，南京市和武汉市增长672 km^2、612 km^2，2019年建成区规模分别达950 km^2、823 km^2和812 km^2，空间扩展强度分别为26.50%、18.54%和12.76%，空间扩展数量和强度整体大于黄河流域中心城市。在扩展质量方面，长江流域中心城市空间扩展与人口、经济耦合质量1995—2019年的均值分别为0.65和0.61，黄河流域1992—2020年分别为0.65和0.60，较为接近。可以看出，黄河流域城市扩展数量小于长江流域，但城市扩展质量尚好。

3.3.4 严格落实黄河流域生态保护和高质量发展战略，科学践行城市开发边界，推动流域协调发展 黄河流域及中心城市的发展有其自身的特殊性。一是黄河流域不通航；二是贫困地区及人口众多，14个国家特困集中连片区里有7个涉及黄河流经的省份；三是民族地区及人口多；四是上中游地区水源保护、草原草地保护、黄土黄沙面积广、水土流失面积大的生态环境保护需要；五是上中游工农业发展条件整体不佳。2019年9月提出的黄河流域生态保护和高质量发展重大战略，主要是以生态保护为前提，强化区域联系，优化生产力布局，促进东、中、西部地区协调发展为要点的国家战略，加强黄河流域的整体研究及推动区域协调发展意义重大。

流域中心城市呈现一个全新的发展局面。空间扩展方面，从20世纪90年代以来开发区建设为导向的郊区化热潮已渐消退，黄河流域中心城市向外大面积拓展的态势逐步趋缓。人口增长方面，2020年黄河流域中心城市的人口增长率均超过了全国的0.14%。经济发展方面，除兰州市和呼和浩特市两市以外，2020年中心城市的经济增长率都大于全国的平均水平(2.75%)。

基于上述现况，结合黄河流域生态保护和高质量发展战略，从空间、人口和经济3个方面对于流域

及中心城市高质量发展应考虑和注重以下方面：一要完善黄河流域高质量发展的战略规划，尤其是城镇开发边界红线约束的相关法律法规，科学践行中心城市开发边界[12,29]。二要加快形成具有特色的区域发展模式，促进地方经济转型，持续优化产业结构，深化东、中、西部中心城市合作，推进黄河流域区域协调发展[43]。三要通过调解城市空间扩展与人口增长、经济发展之间的相互关系，合理进行城市发展规划与优化。

3.3.5 未来可完善多因素复合评价体系深化研究

本文主要研究区域中心城市，未涉及其他中小城市的空间扩展，未来可选取不同层级城市进行比较研究，丰富黄河流域区域协调发展内涵。在评价体系方面，着重分析空间与人口、经济之间的相互关系，没能考量空间-人口-经济复合系统的影响，未来可完善多因素复合评价体系，进一步深化城市空间扩展的影响因素与驱动力研究。

4 结 论

（1）中心城市建设用地规模持续扩展，时空分异较大。1992—2020年8市平均扩展面积315 km²，下游城市空间扩展面积大于中上游城市，其中济南市扩展面积最大（684 km²）、西宁市最小（54 km²）。空间扩展强度以2002—2007年为最，呈下游向中上游递减的阶梯状分布，济南市、郑州市、西安市和银川市扩展强度较高。

（2）空间扩展质量整体向好，中下游城市空间扩展质量较高。1992—2020年中心城市空间扩展与人口耦合平均值由0.42上升至0.89，耦合质量在空间上从下游向中上游递减，2020年除兰州市外，中心城市基本达到了优质协调。中心城市空间扩展与经济耦合平均值由0.19提升至0.81，呈现从中游向上下游递减的分布特征，2020年除济南市、兰州市和呼和浩特市外，中心城市均达到了优质协调。

（3）科学践行城市开发边界，努力实现高质量发展。黄河流域中心城市空间扩展分异是自然区位、经济发展、政策条件等多因素综合驱动的结果，济南市、西安市和郑州市空间扩展最为明显，其中西安市空间扩展出现了一定失衡状况，需加强内涵式用地管理。与长江流域相比，黄河流域中心城市扩展数量少但扩展质量尚好，未来应严格落实黄河流域生态保护和高质量发展战略，科学践行城市开发边界，合理规划建设用地，推动流域协调发展。

参考文献（References）

[1] Schneider A, Woodcock C E. Compact, dispersed, fragmented, extensive? A comparison of urban growth in twenty-five global cities using remotely sensed data, pattern metrics and census information [J]. Urban Studies, 2008, 45(3): 659-692.

[2] Angel S, Parent J, Civco D L, et al. The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000—2050[J]. Progress in Planning, 2011, 75(2): 53-107.

[3] 史海金, 吴文恒, 李研, 等. 基于夜间灯光影像数据的黄河流域中心城市建成区空间扩展及动力因子分析[J]. 中国沙漠, 2021, 41(6): 235-248. [Shi Haijin, Wu Wenheng, Li Yan, et al. Study on spatial expansion and dynamic factors of built-up area of central cities in the Yellow River Basin based on night-time light data[J]. Journal of Desert Research, 2021, 41(6): 235-248.]

[4] 陈波翀, 郝寿义, 杨兴宪. 中国城市化快速发展的动力机制[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 1068-1075. [Chen Bozhen, Hao Shouyi, Yang Xingxian. The dynamic mechanism of rapid urbanization in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(6): 1068-1075.]

[5] 朱江丽, 李子联. 长三角城市群产业-人口-空间耦合协调发展研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(2): 75-82. [Zhu Jiangli, Li Zilian. Coupling coordination development of industry-population-space in city cluster of Yangtze River-Delta region [J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25(2): 75-82.]

[6] 朱建华, 戚伟, 修春亮. 中国城市市辖区的空间结构及演化机制[J]. 地理研究, 2019, 38(5): 1003-1015. [Zhu Jianhua, Qi Wei, Xiu Chunliang. Spatial structure and evolution mechanism of municipal districts in China[J]. Geographical Research, 2019, 38(5): 1003-1015.]

[7] 杨保军, 郑德高, 汪科, 等. 城市规划70年的回顾与展望[J]. 城市规划, 2020, 44(1): 14-23. [Yang Baojun, Zheng Degao, Wang Ke, et al. Review and prospect of urban planning development in the past 70 years[J]. City Planning Review, 2020, 44(1): 14-23.]

[8] 陆大道. 我国的城镇化进程与空间扩张[J]. 城市规划学刊, 2007(4): 47-52. [Lu Dadao. Urbanization process and spatial sprawl in China[J]. Urban Planning Forum, 2007(4): 47-52.]

[9] 张国兴, 苏钊贤. 黄河流域中心城市高质量发展评价体系构建与测度[J]. 生态经济, 2020, 36(7): 37-43. [Zhang Guoxing, Su Zhaoxian. Construction and measurement of high quality development evaluation system for the central cities in the Yellow River Basin[J]. Ecological Economy, 2020, 36(7): 37-43.]

[10] 马海涛, 徐楦钫. 黄河流域城市群高质量发展评估与空间格局分异[J]. 经济地理, 2020, 40(4): 11-18. [Ma Haitao, Xu Xuanfang. High-quality development assessment and spatial heterogeneity of urban agglomeration in the Yellow River Basin[J]. Economic Geog-

raphy, 2020, 40(4): 11-18.]

[11] 张京祥, 赵丹, 陈浩. 增长主义的终结与中国城市规划的转型[J]. 城市规划, 2013, 37(1): 45-50, 55. [Zhang Jingxiang, Zhao Dan, Chen Hao. Termination of growth supermacism and the transformation of China's urban planning[J]. City Planning Review, 2013, 37(1): 45-50, 55.]

[12] 安树伟, 李瑞鹏. 黄河流域高质量发展的内涵与推进方略[J]. 改革, 2020(1): 76-86. [An Shuwei, Li Ruipeng. Intension and promotion strategy of high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Reform, 2020(1): 76-86.]

[13] Zhao S Q, Zhou D C, Zhu C, et al. Spatial and temporal dimensions of urban expansion in China[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49(16): 9600-9609.

[14] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010—2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. 地理学报, 2018, 73(5): 789-802. [Liu Jiyuan, Ning Jia, Kuang Wenhui, et al. Spatio-temporal patterns and new characteristics of land-use change in China during 2010—2015[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(5): 789-802.]

[15] 王洋, 王少剑, 秦静. 中国城市土地城市化水平与进程的空间评价[J]. 地理研究, 2014, 33(12): 2228-2238. [Wang Yang, Wang Shaojian, Qin Jing. Spatial evaluation of land urbanization level and process in Chinese cities[J]. Geographical Research, 2014, 33(12): 2228-2238.]

[16] 杨艳昭, 封志明, 赵延德, 等. 中国城市土地扩张与人口增长协调性研究[J]. 地理研究, 2013, 32(9): 1668-1678. [Yang Yanzhao, Feng Zhiming, Zhao Yande, et al. Coordination between urban land expansion and population growth in China[J]. Geographical Research, 2013, 32(9): 1668-1678.]

[17] 欧阳晓, 朱翔. 中国城市群城市用地扩张时空动态特征[J]. 地理学报, 2020, 75(3): 571-588. [Ouyang Xiao, Zhu Xiang. Spatio-temporal characteristics of urban land expansion in Chinese urban agglomerations[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(3): 571-588.]

[18] 童陆亿, 胡守庚. 中国主要城市建设用地扩张特征[J]. 资源科学, 2016, 38(1): 50-61. [Tong Luyi, Hu Shougeng. Characterizations of urban sprawl in major Chinese cities[J]. Resources Science, 2016, 38(1): 50-61.]

[19] 王利伟, 冯长春. 转型期京津冀城市群空间扩展格局及其动力机制——基于夜间灯光数据方法[J]. 地理学报, 2016, 71(12): 2155-2169. [Wang Liwei, Feng Changchun. Spatial expansion pattern and its driving dynamics of Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region: Based on nighttime light data[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(12): 2155-2169.]

[20] 李加林, 许继琴, 李伟芳, 等. 长江三角洲地区城市用地增长的时空特征分析[J]. 地理学报, 2007, 62(4): 437-447. [Li Jialin, Xu Jiqin, Li Weifang, et al. Spatio-temporal characteristics of urbanization area growth in the Yangtze River Delta[J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(4): 437-447.]

[21] 刘登娥, 陈爽. 近30年来苏锡常城市增长形态过程与聚散规律[J]. 地理科学, 2012, 32(1): 47-54. [Liu Deng'e, Chen Shuang. Diffusion and aggregate process of urban pattern in Suzhou, Wuxi and Changzhou cities over the recent 30 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(1): 47-54.]

[22] 薛东前, 王传胜. 无锡城市用地扩展的时空特征与趋势分析[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 9-14. [Xue Dongqian, Wang Chuansheng. Urban land expansion in Wuxi City: Space-time features and new trends[J]. Resource Science, 2003, 25(1): 9-14.]

[23] 张甜, 王仰麟, 刘焱序, 等. 1987—2015年深圳市主城区景观演变过程多时相识别[J]. 地理学报, 2016, 71(12): 2170-2184. [Zhang Tian, Wang Yanglin, Liu Yanxu, et al. Multi-temporal detection of landscape evolution in western Shenzhen City during 1987—2015[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(12): 2170-2184.]

[24] 王成新, 窦旺胜, 程钰, 等. 快速城市化阶段济南城市空间扩展及驱动力研究[J]. 地理科学, 2020, 40(9): 1513-1521. [Wang Chengxin, Dou Wangsheng, Cheng Yu, et al. Spatial expansion and driving force of Jinan City in the stage of rapid urbanization[J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(9): 1513-1521.]

[25] 朱顺娟, 陈群元, 游胜景. 城市空间扩展模型及对长沙市的模拟研究[J]. 地域研究与开发, 2011, 30(1): 65-68. [Zhu Shunjuan, Chen Qunyuan, You Shengjing. Study on urban space expand model and its factual simulation in Changsha[J]. Areal Research and Development, 2011, 30(1): 65-68.]

[26] 任君, 刘学录, 岳健鹰, 等. 基于MCE-CA模型的嘉峪关市城市开发边界划定研究[J]. 干旱区地理, 2016, 39(5): 1111-1119. [Ren Jun, Liu Xuelu, Yue Jianying, et al. Delimiting the urban development boundary of Jiayuguan City based on MCE-CA model[J]. Arid Land Geography, 2016, 39(5): 1111-1119.]

[27] 刘盛和. 城市土地利用扩展的空间模式与动力机制[J]. 地理科学进展, 2002, 21(1): 43-50. [Liu Shenghe. Spatial patterns and dynamic mechanisms of urban land use growth[J]. Progress in Geography, 2002, 21(1): 43-50.]

[28] 王少剑, 崔子恬, 林靖杰, 等. 珠三角地区城镇化与生态韧性的耦合协调研究[J]. 地理学报, 2021, 76(4): 973-991. [Wang Shaojian, Cui Zitian, Lin Jingjie, et al. Coupling relationship between urbanization and ecological resilience in the Pearl River Delta[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(4): 973-991.]

[29] 任保平, 张倩. 黄河流域高质量发展的战略设计及其支撑体系构建[J]. 改革, 2019(10): 26-34. [Ren Baoping, Zhang Qian. The strategic design and supporting system construction of high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Reform, 2019(10): 26-34.]

[30] 马强, 徐循初. "精明增长"策略与我国的城市空间扩展[J]. 城市规划汇刊, 2004(3): 16-22. [Ma Qiang, Xu Xunchu. "Smart growth" policy and urban spatial expansion in China[J]. Urban Planning Forum, 2004(3): 16-22.]

[31] 耿甜伟, 毛雅倩, 李九全, 等. 西安城市扩展时空特征及驱动机制[J]. 经济地理, 2019, 39(10): 62-70. [Geng Tianwei, Mao Yaqian, Li Jiuquan, et al. Spatio-temporal characteristics and driving

mechanism of Xi'an urban expansion[J]. Economic Geography, 2019, 39(10): 62-70.]

[32] 姜博, 王媛, 魏超, 等. 城市土地利用扩展的驱动因素与空间扩展模式研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(7): 1-6. [Jiang Bo, Wang Yuan, Wei Chao, et al. Research on city land use expansion driving factors and spatial expansion mod[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(7): 1-6.]

[33] 刘涛, 曹广忠. 城市用地扩张及驱动力研究进展[J]. 地理科学进展, 2010, 29(8): 927-934. [Liu Tao, Cao Guangzhong. Progress in urban land expansion and its driving forces[J]. Progress in Geography, 2010, 29(8): 927-934.]

[34] 李鸿飞, 何颖茹, 毕晓莉. 黄河流域兰州段生态环境与高质量发展耦合协调关系研究[J]. 干旱区地理, 2022, 45(4): 1244-1253. [Li Hongfei, He Yingru, Bi Xiaoli. Coupling coordination relationship between ecological environment and high-quality development in Lanzhou section of Yellow River Basin[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(4): 1244-1253.]

[35] 奥勇, 蒋嶺峰, 白召弟, 等. 基于格网GIS的黄河流域土地生态质量综合评价[J]. 干旱区地理, 2022, 45(1): 164-175. [Ao Yong, Jiang Lingfeng, Bai Zhaodi, et al. Comprehensive evaluation of land ecological quality in the Yellow River Basin based on grid-GIS[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(1): 164-175.]

[36] 张可云, 张颖. 不同空间尺度下黄河流域区域经济差异的演变[J]. 经济地理, 2020, 40(7): 1-11. [Zhang Keyun, Zhang Ying. The evolution of regional economic disparity in the Yellow River Basin at different spatial scales[J]. Economic Geography, 2020, 40(7): 1-11.]

[37] 陈明星, 陆大道, 张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 387-398. [Chen Mingxing, Lu Dadao, Zhang Hua. Comprehensive evaluation and the driving factors of China's urbanization[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(4): 387-398.]

[38] 孙平军, 丁四保, 修春亮. 北京市人口-经济-空间城市化耦合协调性分析[J]. 城市规划, 2012, 36(5): 38-45. [Sun Pingjun, Ding Sibao, Xiu Chunliang. Analysis of the coordination of population-economy-space in Beijing[J]. City Planning Review, 2012, 36(5): 38-45.]

[39] 何艳冰, 黄晓军, 杨新军. 快速城市化背景下城市边缘区失地农民适应性研究——以西安市为例[J]. 地理研究, 2017, 36(2): 226-240. [He Yanbing, Huang Xiaojun, Yang Xinjun. Adaptation of land-lost farmers to rapid urbanization in urban fringe: A case study of Xi'an[J]. Geographical Research, 2017, 36(2): 226-240.]

[40] 吴文恒, 牛叔文, 郭晓东, 等. 中国人口与资源环境耦合的演进分析[J]. 自然资源学报, 2006, 21(6): 853-861. [Wu Wenheng, Niu Shuwen, Guo Xiaodong, et al. Evolutional analysis of coupling between population and resource-environment in China[J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21(6): 853-861.]

[41] 刘金凤, 吴文恒, 万赟, 等. 近20年黄河流域城乡耦合协调的演化特征及影响因素[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 413-422, 429. [Liu Jinfeng, Wu Wenheng, Wan Yun, et al. Evolutionary characteristics and influencing factors of urban-rural coupling coordination in Yellow River Basin in recent 20 years[J]. Reasearch of Soil and Water Conservation, 2023, 30(3): 413-422, 429.]

[42] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12. [Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang, Zhuang Dafang, et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s[J]. Geographical Research, 2003, 22(1): 1-12.]

[43] 樊杰, 王亚飞, 王怡轩. 基于地理单元的区域高质量发展研究——兼论黄河流域同长江流域发展的条件差异及重点[J]. 经济地理, 2020, 40(1): 1-11. [Fan Jie, Wang Yafei, Wang Yixuan. High quality regional development research based on geographical units: Discuss on the difference in development conditions and priorities of the Yellow River Basin compared to the Yangtze River Basin[J]. Economic Geography, 2020, 40(1): 1-11.]

Spatial expansion characteristics and their enlightenment in central cities in the Yellow River Basin in the last 30 years

WAN Yun[1], WU Wenheng[1,2], LIU Jinfeng[1], SHI Haijin[1], LIU Limeng[1]

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, Shaanxi, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity, Xi'an 710127, Shaanxi, China)

Abstract: Urban development boundaries and high-quality development policies can be scientifically practiced by exploring the characteristics of urban spatial expansion and recognizing the efficiency of urban land use. Based on data on urban space, population, and economy, the spatiotemporal characteristics of the quantity and quality of spatial expansion of eight central cities in the Yellow River Basin from 1992 to 2020 were analyzed using the urban expansion intensity index, urban expansion intensity differentiation index, and coupling degree model. The results show that: (1) The average expansion area of central cities is 315 km^2 and expansion scale of downstream cities is larger than those of cities in the middle and upper reaches, and the expansion intensity of Jinan, Zhengzhou, Xi'an and Yinchuan is higher. (2) The coupling relationship between spatial expansion, population and economy in each city showed a decreasing distribution from the downstream to the middle and upper reaches. The average value of the coupling relationships between spatial expansion and population and economy increased from 0.42 and 0.19 in 1992 to 0.89 and 0.81 in 2020, respectively, indicating that the overall expansion quality was improving. (3) The differentiation of urban spatial expansion results from multiple factors, such as natural location, economic development, and policy conditions. (4) The crucial approaches for the central cities in the Yellow River Basin to achieve high-quality development include strictly implementing high-quality development policy regarding the Yellow River Basin, scientifically practicing urban development boundary, coordinating and optimizing the relationship between urban land expansion and population and economy, and rationally planning urban development.

Key words: spatial expansion; coupling degree; central cities; the Yellow River Basin